Från missförstånd till klarhet: hur kan undervisningen organiseras för att stötta elevers förståelse för växthuseffekten?

M Sundler, C Dudas & P Anderhag

Sammanfattning

Artikeln presenterar en studie om hur undervisning kan stötta elevers förståelse av växthuseffekten. Studien genomfördes som en Learning study i årskurs 7. Syfte var att identifiera möjliga kritiska aspekter för att förstå växthuseffekten samt att undersöka hur undervisningen kan organiseras för att stötta elevernas lärande. Studiens resultat visar att följande aspekter kan anses vara kritiska för medverkande elevers förståelse; att kunna beskriva atmosfärens uppbyggnad, att kunna beskriva ozonlagret och växthuseffekten som olika fenomen, att kunna beskriva växthuseffektens betydelse för jordens normaltemperatur och att kunna beskriva växthuseffekten som en energiomvandlingsprocess. Resultatet är därmed i linje med vad tidigare forskning har visat, studien kompletterar genom att visa på hur antaganden om och visualiseringen av modeller kan ha betydelse för elevernas förståelse för växthuseffekten. Studiens resultat föreslår att undervisningen bör organiseras i aktiviteter där eleverna får möjlighet att 1) diskutera vad en naturvetenskaplig modell är, 2) utgå från ett modelltänkande för att problematisera växthuseffekten och 3) i arbetet med växthuseffekten som modell, få stöd i att urskilja vad i atmosfärens uppbyggnad som är relevant.

Nyckelord: NO, växthuseffekten, learning study, undervisning



Maria Sundler är förstelärare på Nya Elementar i Stockholm och undervisar åk 7-9 i Ma, NO och Tk. Hon är dessutom NT-handledare inom ramen för Skolverkets NT-satsning.



Cecilia Dudas är gymnasielärare i Ke på Globala gymnasiet i Stockholm, forskarstuderande i naturvetenskapsämnenas didaktik, Stockholms universitet samt koordinator vid STLS.*



Per Anderhag är lektor på Utbildningsförvaltningen, Stockholms stad samt nätverksledare för NT-nätverket vid STLS.

** Stockholm Teaching & Learning Studies. Detta projekt har genomförts inom ramen för STLS.*

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

Abstract

The article presents a study of how teaching can support students' understanding of the greenhouse effect. The study was conducted as a Learning Study in grade 7. The purpose was to identify possible critical aspects of understanding the greenhouse effect and to investigate how teaching can be organized to support student learning. The following aspects can be considered critical for the participating students' understanding; being/to be? able to describe the atmosphere's structure, to be able to describe the ozone layer and the greenhouse effect as separate phenomena, to be able to describe the greenhouse effect as central for a normal earth temperature and to be able to describe global warming as an energy conversion process. The findings thereby support previous research and contributes by demonstrating how assumptions about, and the visualization of, models may have an impact on students' understanding of the greenhouse effect. The study suggest that the teaching should be organized in activities where students have the opportunity to 1) discuss scientific models, 2) use a model approach to problematize the greenhouse effect and 3) get support to discern which aspects of the atmosphere that are of relevance in the green house model.

Keywords: Science, Greenhouse effect, Learning Study, Teaching

Introduktion

Dagligen talas det om global uppvärmning och de problem som det allt varmare klotet skapar. Nyhetsinslag på tv och radio skildrar städer som översvämmas och odlingsmarker som spricker upp av torka. De tilltagande problemen och de konsekvenser de har på ett ekologiskt, socialt och ekonomiskt hållbart samhälle beskrivs av FN som en av mänsklighetens största utmaningar (Glenn, Gordon, & Florescu, 2014). I Sverige och många andra länder utgör skolans styrdokument ett viktigt redskap för att skapa förståelse för denna problematik. När svenska elever börjar högstadiet ska de ha med sig kunskaper om energianvändning och dess påverkan på klimatet. Enligt kunskapskraven ska de kunna samtala om och diskutera enkla frågor som rör just energi, miljö, hälsa och samhälle och kunna ställa frågor och bemöta åsikter som för diskussionen framåt. Att undervisa om växthuseffekten, klimatet och människans påverkan på klimatet är alltså centrala delar av den naturvetenskapliga undervisningen. Samtidigt ser vi lärare att elever ofta blandar ihop olika miljöproblem och dessutom ser eleverna växthuseffekten som något enbart negativt.

Tidigare forskning

Ett flertal studier har genomförts kring elevers förståelse för växthuseffekten, global uppvärmning och relaterade områden (se Jakobsson, Mäkitalo, & Säljö, 2009 för en översikt). Bland annat har dessa studier visat att elever, både i Sverige och internationellt, vanligtvis kan beskriva negativa effekter av växthuseffekten, som till exempel smältande polarisar och långvarig torka (Boyes & Stanisstreet, 1993). Det stora flertalet studier har framförallt fokuserat på vilka uppfattningar eleverna uttrycker och man har då visat att elever ofta uppvisar en förståelse som skiljer sig från hur man

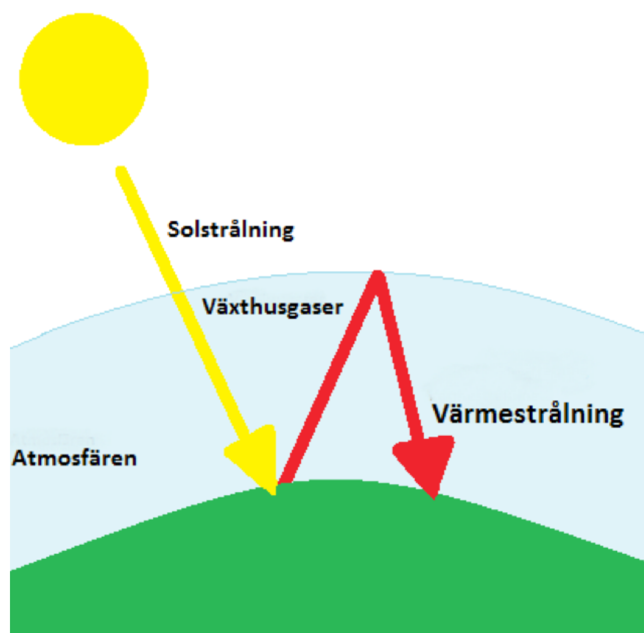
inom det naturvetenskapliga fältet förklarar och förstår dessa fenomen. Till exempel brukar inte elever göra en åtskillnad mellan en naturlig och en antropogen växthuseffekt (Andersson & Wallin, 2000). Detta innebär, som antytts ovan, att växthuseffekten vanligtvis beskrivs som något negativt och sällan som en nödvändighet för mer komplext liv på planeten (Andersson & Wallin, 2000). Flera studier har också visat att elever ofta sammanblandar växthuseffekten med ozonlagret, till exempel anses skador i ozonlagret möjliggöra att mer energi från solen når jorden, vilket i sin tur påverkar den globala uppvärmningen (se Boyes & Stanisstreet, 1993; Koulaidis & Christidou, 1999) Denna uppfattning, som finns både hos yngre (Koulaidis & Christidou, 1999) och äldre elever (Jeffries, Stanisstreet, & Boyes, 2001), uttrycktes även av lärarstudenterna i Jane Doves (1996) studie. Vidare kan elever uttrycka osäkerhet vad som kännetecknar en växthusgas och vilka de är (Boyes & Stannisstreet, 1997), till exempel visar Rye och Rubba (1998) att majoriteten av eleverna i deras studie ansåg att freon är en växthusgas, detta då freoner reagerar med och sönderdelar ozonmolekyler som i syn tur ökar mängden solenergi som når jorden. Man har också visat att elever har svårt att urskilja skillnaderna mellan den kortvågiga, inkommande solenergin och den långvågiga utgående värmeenergin och de energiomvandlingar på jorden som förklarar denna förändring (Gautier, Deutsch, & Rebich, 2006; Koulaidis & Christidou, 1999). Överlag tycks rörelsen mellan makro- och mikronivå vara problematisk för många elever och Tsaparilis och Sevian (2013) föreslår att en orsak till detta kan vara elevers förståelse för materia. Vikström (2015), som undersökt undervisningens betydelse för elevers möjlighet att förstå materia, har visat att eleverna behöver stöd i att urskilja atomer som grunden i materia och att se samband mellan makro och molekylär nivå. Vikström (2015) visade också att det är viktigt att ge eleverna möjlighet att samtala om var atomerna inte finns och att det finns tomrum mellan partiklar.

Växthuseffekten som modell

I det naturvetenskapliga fältet används ofta visualiseringar för att förstå, förklara och konkretisera naturvetenskapliga modeller och fenomen, både av forskare och lärare i naturvetenskapliga ämnen. Kända historiska exempel är Linné och hans lärjungars illustrationer, medicinska avbildningar och mer abstrakta, nutida varianter som kladogram eller kemisk bindning (Baigrie, 1996). Idag förekommer animationer och bilder rikligt i olika läromedel, dels i form av direkta avbildningar av verkligheten och dels i form av förenklade beskrivningar av empiriska samband. Ett exempel på den senare kan till exempel vara Bohrs atommodell. Forskning har också visat att illustrationer till text gör att människor lär sig lättare (Paivio, 1986) och läromedelsstudier har visat att en bild kan fördjupa elevers förståelse av fakta (Jägerskog, 2015).

I media – och skolsammanhang illustreras ofta växthuseffekten i form av en bild där relationen jord, atmosfär och solinstrålning åskådliggörs. Bilden beskriver en modell för att förstå, förklara och göra förutsägelser gällande jordens värmebalans. Oavsett om de förekommer i medier som tv eller tidningar eller i läromedel har bilderna ett liknande utseende; jorden är omgiven av ett lager, en strålgång från solen ses och efter att den träffat jorden är det totalreflektion enligt reflexionslagen där strålen

träffar jordens yta i en vinkel och reflekteras i samma vinkel. Efter att ha reflekterats på jorden fortsätter strålen ut mot rymden igen där den sedan reflekteras igen mot lagret, se figur 1.



Figur 1. *Typexempel på hur växthuseffekten ofta illustreras visuellt.*

Bilden av atmosfären som ett lock eller hinna mot vilken värmestrålning studsar återkommer även i elevers beskrivningar av växthuseffekten. I sin studie visar Koulaidis & Christidou (1999) att eleverna utgår från konceptuella modeller som kännetecknas av olika varianter av växthusgasernas placering i atmosfären; växthusgaserna utgör ett lock på en specifik höjd som håller kvar värmen, växthusgaserna finns på samma höjd som ozonlagret och solenergi kommer in via hål i detta lager och slutligen, växthusgaserna är uniformt spridda i atmosfären där de absorberar värmestrålning (Koulaidis & Christidou, 1999). Liknande beskrivningar lyfts även i Anderson och Wallins (2000) och Mason och Santis (1998) studier.

Den svenske meteorologen Nils Gustaf Ekholm var den förste att använda metaforen växthus för att beskriva atmosfärens betydelse för jordens värmebalans, även om fenomenet tidigare hade identifierats och undersökts av exempelvis Svante Arrhenius och John Tyndall (Easterbrook, 2015). Enligt Esterbrook (2015) introducerade John Henry Poynting (1907) begreppet växthuseffekten i ett filosofiskt magasin 1907: *'the blanketing effekt', or, as I prefer to call it, the 'greenhouse effect' of the atmosphere* (s.749). Några år senare, kritiserade Robert Williams Wood (1909) begreppet. Värmen hålls kvar i en glasbehållare främst beroende på att den uppvärmda luften inte kan smita ut och inte för att värmestrålningen hindras av glaset. De empiriska samband som kan observeras gällande energiomvandlingen i ett växthus har alltså ingen bäring för de samband som kan observeras i jordens atmosfär och redan i början av 1900-talet ifrågasattes användningen av metaforen växthus i modellen för jordens

värmebalans.

Utifrån tidigare forskning kan man sammanfattningsvis konstatera att elever tycks ha en bristfällig bild av växthuseffekten som en modell för jordens värmebalans. I en intressant artikel av Jakobsson, Mäkitalo och Säljö (2009) ifrågasätts emellertid de teoretiska utgångspunkter som flertalet av ovanstående studier utgår från när de tolkar sina resultat. I korthet menar de att antagandet om att elevers skriftliga svar på en fråga ska ge en komplett bild av deras förståelse för det fenomen forskarna är intresserade av, i detta fall växthuseffekten, brister på flera punkter. Bland annat menar författarna att många studier utgår från att eleverna förstår sammanhang och distinktioner på samma sätt som forskarna gör. Till exempel är det problematiskt om man ber eleverna använda ”sina egna ord” när de ska besvara en fråga samtidigt som svaret sedan kategoriseras utifrån hur precist de använder en naturvetenskaplig begreppsapparat. Ett annat exempel som Jakobson, Mäkitalo och Säljö (2009) lyfter är att åtskillnaden mellan antropogen och naturlig växthuseffekt, även om detta är en viktig distinktion som tidigare studier ofta intresserat sig för, klargörs det sällan i frågorna till eleverna att de förväntas resonera kring de två olika typerna. Man förutsätter alltså att eleverna själva ska göra den distinktionen när de ombeds förklara ”växthuseffekten”. Författarna menar att enskilda utsagor, som till exempel gällande atmosfärens struktur, får sin betydelse utifrån det sammanhang de används. Jakobson, Mäkitalo och Säljö (2009) utgår från att lärande är situerat i en specifik aktivitet och argumenterar utifrån sin studie, de har följt elevers lärande över tid, att elever successivt utvecklar en förståelse och en naturvetenskaplig begreppsapparat. I deras studie visar de att många av de missuppfattningar som tidigare studier har visat på får en annorlunda betydelse när de används i en specifik aktivitet med för eleverna meningsfulla syften.

Jakobson, Mäkitalo och Säljös (2009) studie nyanserar således bilden av elevers uppfattningar om växthuseffekten genom att uppmärksamma sammanhangets betydelse för vilka meningar som konstrueras. Både i form av rena faktakunskaper men också i hur elever tolkar och använder naturvetenskapliga modeller. Slutligen, som beskrivits ovan har det stora flertalet studier undersökt elevers uppfattningar och i mindre grad fokuserat på hur undervisning kan utformas för att gynna lärande i naturvetenskap (se t.ex. Bengtsson m.fl., 2017; Ulfves m.fl., 2017). Det framstår därför som relevant att utforska detta vidare, nämligen hur kan undervisning organiseras för att stötta elevernas förståelse av växthuseffekten?

Teoretisk och metodologisk bakgrund

Studien som ligger till grund för denna artikel genomfördes som en learning study. En learning study är en forskningsansats som bedrivs lokalt på en skola i syfte att utveckla elevers lärande. En learning study består av ett antal cykler som är uppbyggda utifrån ett visst system (Marton 2005, Marton och Ling 2007) som beskrivs nedan. I en learning study utgår lärarna från en teori om lärande vid planering av undervisningen och vid analysen av elevernas förståelse av lärandeobjektet. Enkelt uttryckt är lärandeobjekt det eleverna förväntas lära sig och väljs ofta i en learning study utifrån

lärarnas erfarenhet av vad eleverna upplever som svårt. Lärarnas utgångspunkt i en learning study är att identifiera kritiska aspekter för ett visst lärandeobjekt. Med kritiska aspekter menas det som eleverna måste ha erfarit för att utveckla förståelse för det aktuella lärandeobjektet. De kritiska aspekterna kan identifieras genom lärarnas tidigare erfarenheter, genom intervjuer med elever och/eller förtester. Då de kritiska aspekterna formulerats utformas ett förtest för att undersöka elevernas förförståelse och eventuellt finna ytterligare kritiska aspekter för att utveckla förståelse för det aktuella lärandeobjektet. Utifrån de kritiska aspekterna och resultatet på förtestet planerar lärargruppen den första lektionen. Lektionen genomförs av en av lärarna i lärargruppen och vanligen observerar övriga lärare lektionen, antingen direkt eller genom att titta på en videoinspelning i efterhand. Efter lektionen genomför eleverna ett eftertest, med samma frågor som på förtestet. Lektionen utvärderas genom att lärargruppen analyserar genomförandet av lektionen samt resultatet på eftertestet. Utifrån denna analys planeras en ny lektion som genomförs i en ny elevgrupp, av samma eller en annan av lärarna i gruppen. Detta cykliska förlopp upprepas så många gånger som lärargruppen önskar.

I en learning study används ofta variationsteori som teoretiskt ramverk (Marton & Booth, 1997). Variationsteori har utvecklats från den fenomenografiska forskningsansatsen, där skillnader mellan uppfattningar om olika fenomen undersöks och beskrivs (Marton, 2005). Inom variationsteori utgår man ifrån att lärande sker då den lärande får möjlighet att urskilja kritiska aspekter som han eller hon inte kunde urskilja tidigare. Genom att erbjuda en variation av de kritiska aspekterna ges eleverna möjlighet att urskilja nya sätt att erfara lärandeobjektet och därmed utveckla sin förståelse. Lärarens roll blir att möjliggöra för elever att upptäcka nya aspekter av lärandeobjektet (Holmqvist, 2006). Variationsteorin används i denna studie för att identifiera kritiska aspekter.

Lärandeobjekt, syfte och forskningsfrågor

Lärandeobjektet i studien definierades som *förståelse för växthuseffekten*. Detta grundar sig i tidigare forskning och i lärargruppens erfarenhet av att eleverna ofta har svårt att resonera kring växthuseffekten och tillhörande antaganden och modeller. Studien syftar till att öka kunskapen om hur undervisning kan organiseras för att stötta elevers förståelse för växthuseffekten. Mer specifikt avser studien att undersöka följande frågeställningar:

- Vilka aspekter kan anses vara kritiska för elevers förståelse för växthuseffekten?
- Hur kan en undervisning organiseras för att utveckla elevers lärande med avseende på dessa aspekter?

Metod

Datainsamling och analys

Studien har genomförts på en högstadieskola i västra delen av Stockholm. I lärargruppen deltog fyra lärare där alla har mångårig undervisningserfarenhet; från 8 år upp till 30 år. Lärarna undervisar elever i åldrarna 12-15 år och en av lärarna undervisar de elever som deltog i studien. Artikelns försteförfattare träffade lärargruppen regelbundet för att gemensamt diskutera områden som man ansåg viktiga att utveckla i undervisningen. Eleverna som har deltagit i studien går i tre olika klasser i årskurs sju, en klass med 21 elever och två klasser med 22 elever. Eleverna har tidigare gått på olika skolor och deras undervisning om växthuseffekten under föregående skolår har därför varit med andra lärare och i olika omfattning.

För att få en övergripande förståelse för hur eleverna resonerade kring växthuseffekten genomfördes inledande gruppdiskussioner med eleverna. Eleverna fick samtala kring växthuseffekten, i dessa diskussioner deltog elva grupper med 4-5 elever i varje grupp. Eleverna som deltog i gruppsamtalen var ett år äldre än de elever som kom att delta i studien. I elevdiskussionerna framkom ett antal utsagor som eventuell kunde visa på kritiska aspekter i kunnandet att beskriva växthuseffekten. Till exempel var det vanligt i samtalen, som tidigare forskning visat (Andersson & Wallin, 2000), att växthuseffekten enbart beskrevs utifrån negativa konsekvenser på miljön. Dessa möjliga kritiska aspekter användes, tillsammans med lärarnas erfarenhet och resultat av tidigare forskning till att konstruera ett förtest. Förtestets huvudfrågor berörde växthuseffekten, men det fanns också frågor om ozonlagret och atmosfären då dessa fenomen ofta var en del i elevernas samtal. Förtesten genomfördes med alla elever som skulle delta i studien för att synliggöra elevernas förståelse för växthuseffekten före undervisningen och för att precisera möjliga kritiska aspekter som kunde ligga till grund för lektionsplaneringen. Förtestet genomfördes även för att kunna utvärdera elevernas lärande under lektionen och vara analytiskt verktyg för förfining av planeringen mellan lektionerna. Analysprocessen syftade således till att kategorisera elevutsagorna i antal övergripande teman beskrivande möjliga kritiska aspekter. Samtliga elevtexter lästes och ur denna läsning genererades ett antal nyckelutsagor betydelsefulla för kunnandet att beskriva växthuseffekten (till exempel text ”solstrålarna studsar” eller atmosfären visualiserad som en kant). Efterföljande elevtext analyserades i relation till de nyckelutsagor som framkommit i tidigare elevtext och i denna process genererades successivt ett antal återkommande teman eller huvudområden. Dessa huvudområden representerar möjliga kritiska aspekter och presenteras i studiens resultatdel.

Utfallet av analysen utgjorde även grunden för forskningslektionernas innehåll. Lektionerna organiserades kring ett pratmanus och en Powerpointpresentation, eleverna involverades genom några korta övningar men var framför allt delaktiga genom att de kunde ställa frågor i samband med att läraren pratade kring bilderna. Efter respektive lektion genomfördes ett eftertest. Eleverna fick då svara på samma frågor som vid förtestet. Utifrån resultatet på eftertestet och lärarens reflektioner efter lektionen

reviderades lektionen innan genomförandet med en ny klass. Varje cykel har således genomförts med en ny grupp elever.

Resultat

Förtest

Nedan följer en beskrivning av resultatet av förtestet. Representativa och i viss mån illustrativa elevbilder och texter används för att tydliggöra de möjliga kritiska aspekter som framkom i analysprocessen.

Resultatet från förtestet skilde sig inte nämnvärt åt i de tre olika klasserna. Förtestet visade att eleverna som deltog i studien generellt var bra på att beskriva både orsaker till och konsekvenser av växthuseffekten. De tog upp exempel som att isarna smälter, det blir översvämningar, arter dör och isbjörnens boplats krymper. Eleverna visade också god kunskap om att koldioxid är inblandad i den globala uppvärmningen och att koldioxid skrivs CO_2.

Atmosfären beskrivs som ett tak och stålarna reflekteras

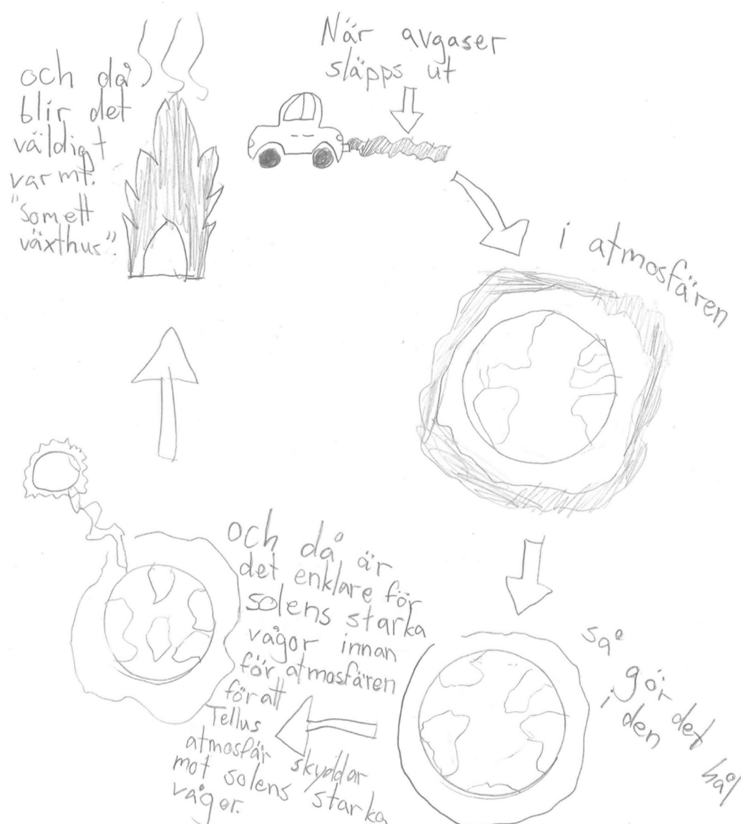
Genomgående hos eleverna som deltog i förtesten var att de flesta ritade bilder med en skarp kant där atmosfären gränsar mot rymden. Enligt många elevsvar i förtesterna är det också mot denna kant eller hinna som strålarna reflekteras (eller studsar som många elever använder som begrepp). Följande elevtext från förtestet indikerar att förståelsen för atmosfärens uppbyggnad och specifikt gasmolekylernas uniforma spridning kan vara en möjlig kritisk aspekt (aspekt 1 och 2 nedan). Eleven, som skrev texten till bilden i figur 2, uttrycker att koldioxiden bildar en hinna som strålar studsar mot:

> *”Växthuseffekten uppstår när vi människor började med industrier, framför allt började släppa ut koldioxid (CO_2) i atmosfären och det har lagt sig som en hinna innanför ozonlagret, och hindrar solstrålar från att komma bort från jorden. Solens strålar går igenom ozonlagret och koldioxiden, och värmer jorden så att det blir varmt. Men sedan kan inte strålarna studsa ut i rymden igen, för att koldioxidhinnan stoppar dem. Då studsar de tillbaka på jorden och gör det ännu varmare, och då höjs medeltemperaturen på jorden”.*



Figur 2. *Exempel på elevsvar där atmosfären framställs som ett tak bestående av ozon.*

I elevsvaren var det vanligt att eleverna ritade strålar i enlighet med figur 2, vanligtvis kommenterades dessa inte och det är således oklart hur man resonerar kring detta. I exemplet ovan är det alltså möjligt att eleven avser värmestrålning och att det är denna som studsar mot hinnan. I resultatet fanns det dock inget elevsvar där inkommande solenergi och utgående "strålar" beskrevs eller illustrerades som någonting annat än just studsande strålar, ingen elev uppmärksammar alltså energiomvandling från solenergi till värmeenergi. En möjlig kritisk aspekt kan därför vara att kunna beskriva växthuseffekten som en energiomvandlingsprocess (aspekt 3 nedan).



Figur 3. *Exempel på elevsvar där hål i atmosfären kopplas till den globala uppvärmningen*

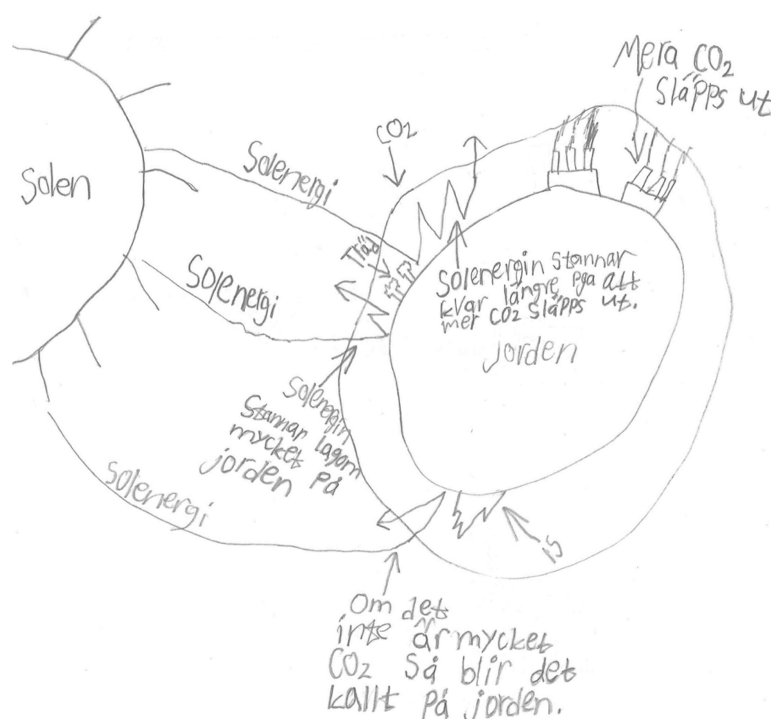
Ozonlagret, koldioxid och växthuseffekten sammanblandas

I elevsvaren var det vanligt att ozonlagret, koldioxid och växthuseffekten på olika sätt relaterades till varandra, till exempel att ozonlagret bildar atmosfärens yttre gräns (figur 2) och att hål i denna gräns gör att mer solenergi kommer in vilket påverkar jordens uppvärmning. I elevexemplet i figur 3 är det dock hål i atmosfären, inte ozonlagret, som utgör orsaken till uppvärmningen. Denna elev har satt citat tecken runt "som ett växthus" som eventuellt visar på att denna elev är medveten om att växthus är en metafor eller modell (aspekt 5): *När avgaser släpps ut i atmosfären så gör det hål i den och då är det enklare för solens starka vågor att komma innanför atmosfären för att Tellus atmosfär skyddar mot solens starka vågor. Då blir det väldigt varmt "som ett växt-*

hus" (se figur 3). Bland förklaringar som enstaka elever gjorde i förtestet förekom även utsagor om att koldioxid är det som bildar ozonlagret. Att ozon är en distinkt molekyl och att den består av syreatomer är inte något som utrycktes bland eleverna då förtestet genomfördes. Elevutsagorna visar på att det finns en komplexitet som kan kopplas både till en förståelse som rör molekylära aspekter på gaser och växthuseffekten, som mer storskaliga fenomen som atmosfärens uppbyggnad. I analysen valdes ändå att kategorisera utsagor relaterade till denna komplexitet i ett övergripande tema och en möjlig kritisk aspekt kan vara att beskriva ozonlagret och växthuseffekten som olika fenomen (aspekt 4 nedan).

Växthuseffekten ses som något enbart negativt

Några elever visade förståelse för att den ökade mängden koldioxidutsläpp bidrog till att partikelhalten i atmosfären ökade och att energi därmed kunde dröja sig kvar längre. Som nämnts tidigare beskrevs växthuseffekten vanligtvis som något negativt. Nedanstående elevsvar var också ensamt om att uttryckligen skriva att det behövs koldioxid för att det inte ska bli för kallt på jorden men att för mycket koldioxid i atmosfären gör att energi stannar kvar för länge. Även detta fenomen är komplext, i detta elevsvar uttrycks till exempel att det är solenergi som blir kvar (aspekt 3) det är oklart hur "strålarna" ska tolkas (de ser ut att "studsa" men böjs inte av precis på kanten, aspekt 2). Centralt är dock det faktum att koldioxid och växthuseffekten kan beskrivas som en nödvändighet när det finns i lagom mängd. En övergripande och möjlig kritisk aspekt kan således vara att kunna beskriva växthuseffektens betydelse för jordens normaltemperatur (aspekt 6).



Figur 4. *Exempel på elevsvar där eleven visar att koldioxid har betydelse för jordens temperatur*

Begreppet modell är svårt

Slutligen, förtestet visade också att eleverna saknade kunskaper om modeller och om att växthuseffekten är en modell. Detta visade sig under förtestets genomförande då eleverna behövde hjälp att tolka begreppet modell. Att kunna beskriva växthuseffekten som en naturvetenskaplig modell, med de antaganden och förenklingar detta innebär, kan alltså vara en möjlig kritisk aspekt (aspekt 5 nedan).

Möjliga kritiska aspekter i utvecklandet av en förståelse för växthuseffekten

Utifrån analysen av förtesten formulerade lärargruppen följande möjliga kritiska aspekter, det vill säga aspekter på fenomenet som är av betydelse för elevernas möjligheter att utveckla en förståelse för växthuseffekten.

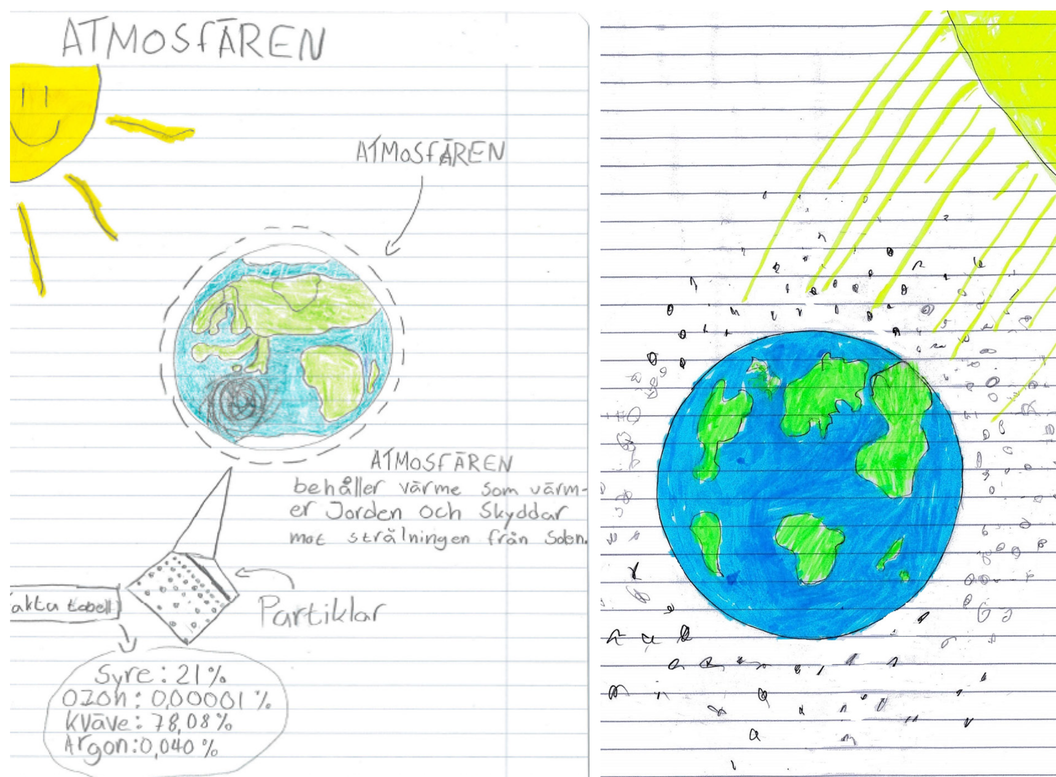
1. Att kunna beskriva atmosfären som bestående av gasmolekyler fördelade på ett specifikt sätt i höjdled.
2. Att kunna beskriva växthusgasernas läge i atmosfären utifrån ovanstående modell, snarare än att de bildar ett tak på en specifik höjd.
3. Att kunna beskriva växthuseffekten som en energiomvandlingsprocess mellan inkommande solenergi och utgående värmestrålning, snarare än att ljus- eller värmeenergi reflekteras mot atmosfärens tak/jordytan.
4. Att kunna beskriva ozonlagret och växthuseffekten som olika fenomen.
5. Att kunna beskriva växthuseffekten som ett exempel på en naturvetenskaplig modell.
6. Att kunna beskriva växthuseffektens betydelse för jordens normaltemperatur.

Förarbete forskningslektioner

Innan forskningslektionen utvecklades, som specifikt skulle stötta elevernas förståelse för växthuseffekten, bedömde lärargruppen att det var nödvändigt att låta eleverna arbeta med atmosfärens uppbyggnad. Detta motiverades utifrån kartläggningen av elevsvaren i förtesten, men även tidigare forskning (Koulaidis & Christidou 1999), som visat att elevernas förståelse för växthuseffekten är relaterat till hur de förstår atmosfärens uppbyggnad generellt. Därför utvecklades en övning där eleverna skulle göra en faktatext om atmosfären och rita en egen illustrerande bild som visar hur atmosfären är uppbyggd. Alla deltagande elever gjorde en egen bild med tillhörande text genom att söka fakta i läromedel men även från Internet. I instruktionen angavs också att bilder på Internet och i läromedel kan vara missvisande då de ofta visualiserar atmosfären genom att visa på ett distinkt slut, i regel i form av cirkel eller linje runt jorden. Istället ombads eleverna rita en egen bild som bättre representerar atmosfärens uppbyggnad.

I eftertestet visade eleverna fördjupad kunskap om atmosfärens sammansättning

(vilka gaser och vilken mängd av varje) men även en förståelse för atmosfären som ett område inom vilket luftens täthet successivt avtar med höjden över marken (se figur 5a-b som visar illustrationer från elevuppgiften). De elever som inkluderade ozonlagret i sin bild beskrev inte att ozonlagret är ett tunt skikt utan sträcker sig över flera kilometer och att den högsta koncentrationen av ozon ligger i stratosfären vilket är ett område inte så långt upp från jordytan.



Figur 5a-b. *Exempel på elevsvar där atmosfären framställs med varierande partikeltäthet.*

Forskningslektion 1

Forskningslektionen syftade till att åskådliggöra variation i sättet att förstå de fenomen eleverna förväntades förhålla sig till under lektionen (se Björkholm, 2014). Utifrån vad som framkommit i förstudien valde lärargruppen att visa på variation i hur man kan förstå och använda modeller, beskriva atmosfärens utbredning och innehåll samt visualisera och därmed tolka energiomvandlingar relevanta för växthuseffekten. Planeringen av lektionen utgick från att förståelse för miljöproblem är en viktig del av elevernas utbildning men att det samtidigt är viktigt att förmedla en positiv framtidsbild och inte domedagsprofetior (Ojala, 2007). Lektionerna inleddes därför med urklipp från media om den bild av global uppvärmning som eleverna känner till från media men samtidigt förmedlades att forskare och politiker runt om i världen känner till problemet och konsekvenserna och att de nu genom olika sammankomster sätter upp mål och riktlinjer för att bromsa jordens uppvärmning.

Växthusmetaforen

Efter ovanstående inledning berättade läraren vad en modell är och varför modeller är viktiga inom naturvetenskapen. Förtestet visade att ordet modell inte var bekant för eleverna i det här sammanhanget och att det därför genererade många frågor. Begreppet modell bedömdes av lärargruppen vara en av de möjliga kritiska aspekterna och därmed lades stor vikt på lektionen vad en modell är men också tydliggöra deras funktion inom naturvetenskapen. Vanliga modeller eleverna känner till såsom molntäcke och tandtroll nämndes samt vilka för- och nackdelar det finns när man använder modeller. Därefter presenterade läraren växthuseffekten som modell och där klargjordes att det är en välfungerande modell men att modellen även är missvisande genom de bilder som används i samband med förklaringar om växthuseffekten. För att visa på vanligt förekommande missförstånd presenterades bilder, från läromedel och media, som används till förklaringstexter om växthuseffekten. Samtidigt förklarade läraren vilka missförstånd som kan uppkomma då dessa illustrationer används. De exempel på illustrationer som visades under forskningslektionen skulle möta några av de möjliga kritiska aspekterna som sattes upp efter förtestet.

Atmosfären

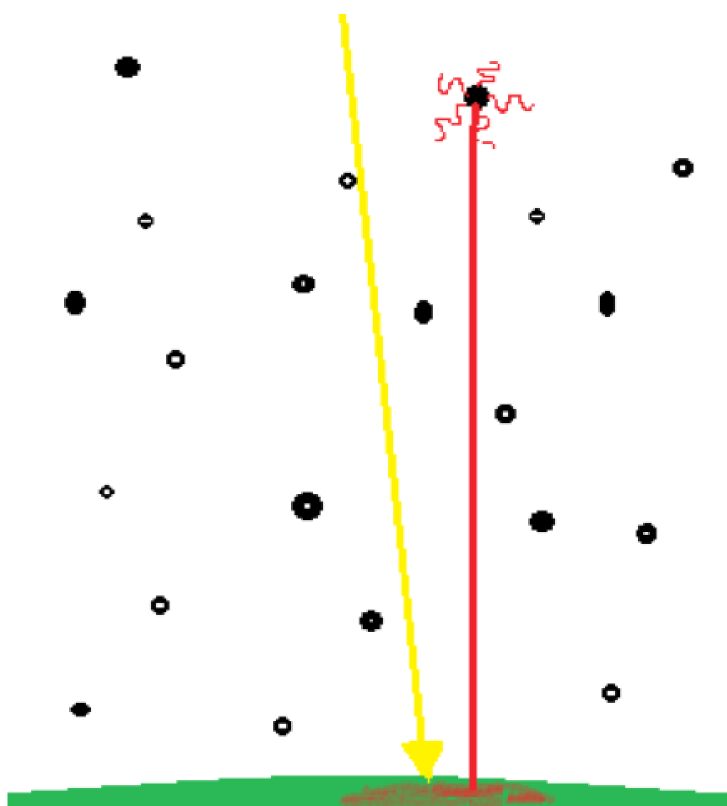
Det första exemplet var att växthusmetaforen föreslår att atmosfären har, precis som växthuset, ett tydligt tak. Läraren hänvisade då till elevuppgiften om atmosfären där eleverna hade ritat bilder som visade att atmosfären egentligen består av molekyler som gradvis avtar i täthet med höjden över jordytan och att det därför inte finns ett distinkt tak och att illustrationer med ett växthus därför kan ge en felaktig bild av atmosfären, se figur 5 a och b.

Ozonlagret

Nästa exempel handlade om ozonlagret som även det ansågs vara en möjlig kritisk aspekt eftersom det i förtestet ofta sammanblandades med växthuseffekten. Läraren lyfte möjligheten att detta kanske kan bero på att det heter ”lager” och att det är lätt att associera det till ”taket” som ofta finns utritat när växthuseffekten framställs visuellt. Läraren förklarade att ozonlagret inte är atmosfärens tak och att problemet med ozonlagrets uttunning inte direkt hör ihop med den förstärkta växthuseffekten.

Partikelhaltens betydelse

Det tredje exemplet tydliggjorde skillnaden med temperaturhöjning i atmosfären och växthuset. Den förhöjda temperaturen i ett växthus beror framför allt på att värme hålls kvar inuti växthuset då den uppvärmda luften i växthuset stiger uppåt men hindras från att lämna växthuset genom att glasväggar och tak bildar en barriär. I atmosfären kommer värmestrålning från den av solen uppvärmda jordytan att stiga uppåt och värmer då upp gaser ovanför. De uniformt spridda gaserna i atmosfären fördröjer jordens värmeutstrålning.



Figur 6. Av lärargruppen producerad bild för att åskådliggöra energiomvandling.

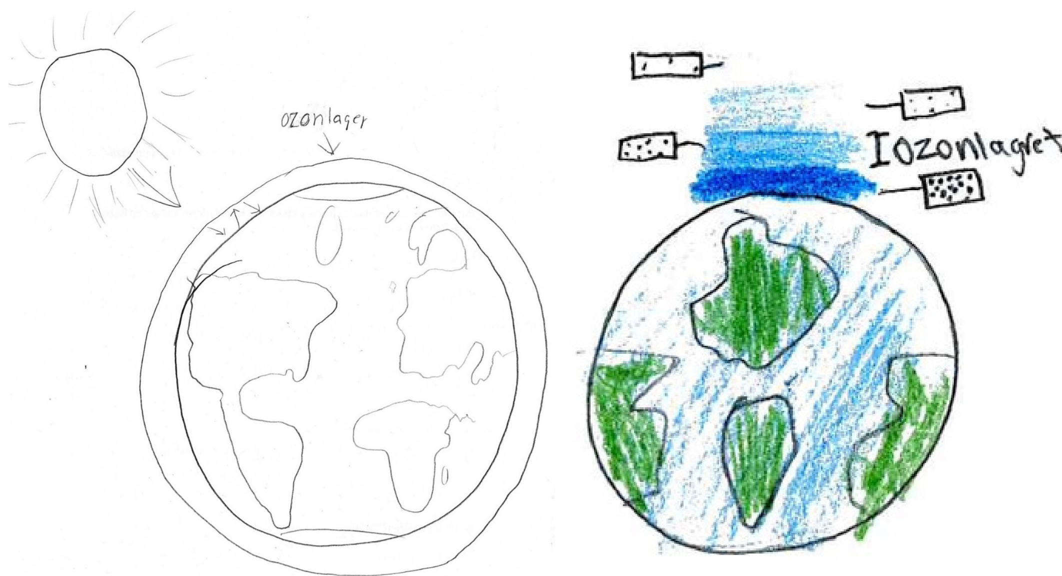
Efter denna genomgång av växthuset som modell förklarades växthuseffekten med egenproducerade bilder för att undvika missvisande illustrationer. Bilden (figur 6) illustrerade hur jordens yta blir uppvärmd av solinstrålningen och hur växthusgaser (molekyler) i sin tur värms av utgående värmestrålning från jordytan och att dessa molekyler i sin tur sedan sänder ut värmestrålning åt alla håll.

I lektionen berättade läraren också om växthuseffektens betydelse för livet på jorden och att jorden utan växthuseffekten skulle ha en medeltemperatur på -190°C. För att illustrera detta tydligare användes Venus och Merkurius som exempel. Merkurius ligger närmast solens yta och borde därför vara varmare men eftersom Venus har en atmosfär fördröjs värmeutstrålningen på Venus vilket ger en högre medeltemperatur. Slutligen fick eleverna läsa en artikel som beskriver de olika växthusgaserna, denna information använde de sedan för att skriva ner exempel på vanliga växthusgaser. I slutet av lektionen fick elevgruppen göra ett eftertest, detta test var, som nämnts ovan, identiskt med det förtest de tidigare genomfört.

Forskningslektion 2

Analysen av eftertestet efter lektion 1 visade att bilderna som eleverna ritade såg annorlunda ut än de från förtestet. Bilderna (figur 7a-b) visade nu jordens atmosfär med partiklar som avtog i höjd mot marken istället för ett lager och såväl bilderna som beskrivningar till visade även att det nu fanns en större förståelse för var ozonlagret

är i förhållande till jordytan och vad ozonlagret har för betydelse.



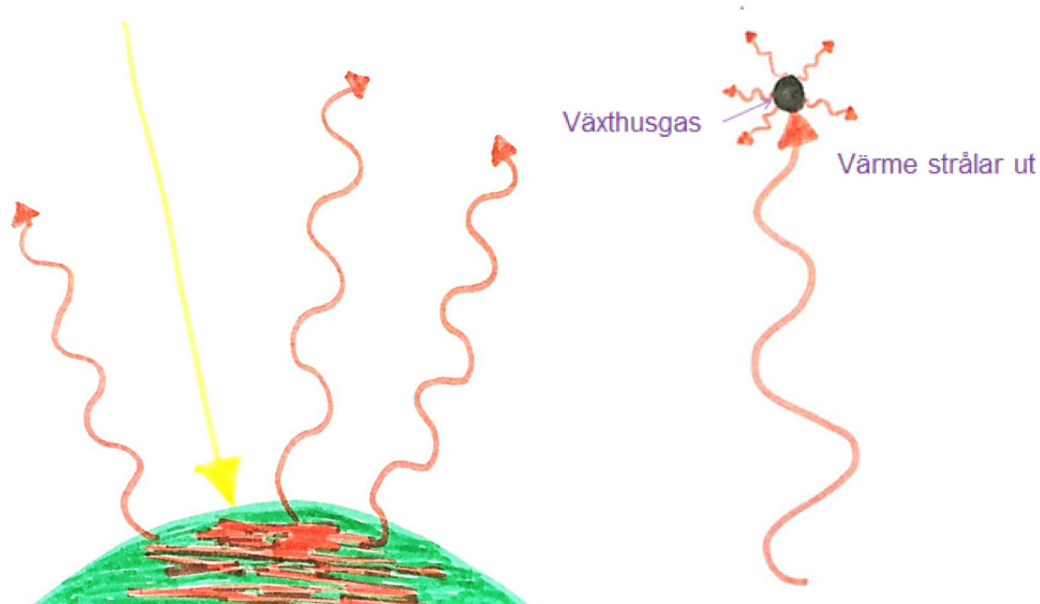
__Figur 7a-b__. Elevexempel på hur atmosfär och ozonlagret illustreras på förtest respektive eftertest.

Beskrivningarna av växthuseffekten visade nu överlag en bättre förståelse för fenomenet. 50% av elevsvaren visade en förståelse som innebär att de skiljer på ozonlagret och växthuseffekten, att växthusgaser såsom koldioxid bidrar till ökad partikelkoncentration, att det sker en energiomvandling mellan inkommande solenergi och värmestrålning samt att växthuseffekten är väsentlig för jordens normaltemperatur, vilket kan definieras som en god förståelse för fenomenet växthuseffekten. Endast en elev uttryckte uppfattningen att ozonlagret tunnas ut av koldioxid (jfr. 13 % av eleverna på förtestet), liknande förändringar gällde även övriga kategorier av förförståelse.

Energiflödet

Lärarna konstaterade dock att ett större fokus behövdes i lektion 2 på hur värmestrålningen sprids då många elever fortfarande använde begreppet studsar. Till lektion 2 så justerades de av lärargruppen ritade bilderna och förklaringstexterna. Bilderna delades upp så att energiflödet syntes tydligare (fig 8.a-b).

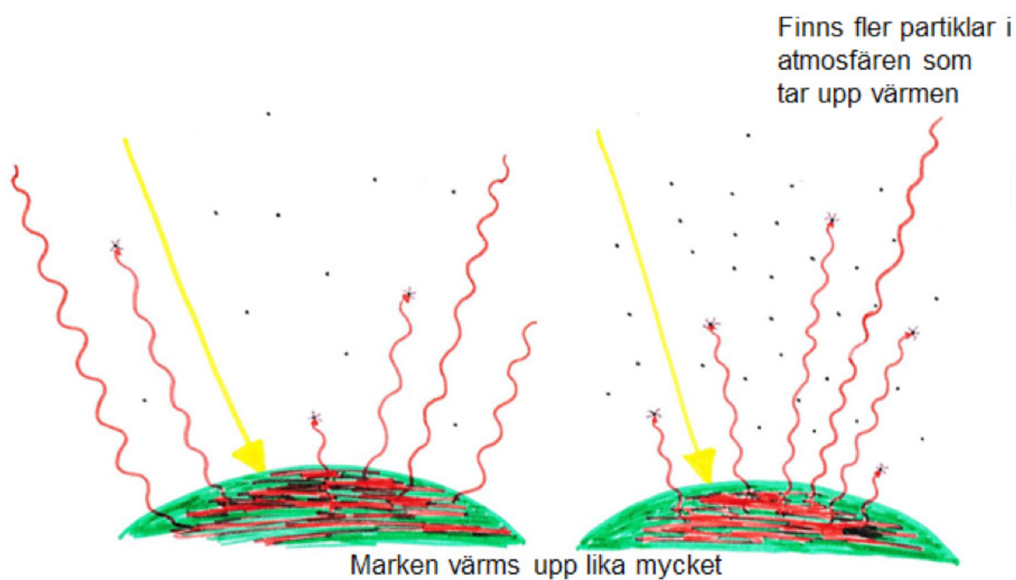
Den första bilden i serien visar när marken fångar upp solstrålarna och blir uppvärmd. Värmeenergi strålar ut från den uppvärmda marken. Samtidigt förklarade lärare muntligt att vissa molekyler i luften fångar upp värmestrålningen bättre än andra. Därefter visades bild två i serien som visar att molekyler i atmosfären värms av den utåtgående värmestrålningen och att de uppvärmda molekylerna i sin tur strålar ut värmeenergi åt alla håll, se figur 8b. Detta för att tydligare förklara hur energin rör sig från solen till jordens yta och därefter ut igen där gasmolekyler värms. I mitten av lektionen kompletterades förklaringarna med en demonstration där en lampa fick visa energiflödet och hur föremål värms upp och därefter avger värme.



Figur 8a-b. Av lärargruppen producerad bild för att åskådliggöra energiomvandling på makro – och mikronivå.

Naturlig och av människan förstärkt växthuseffekt

Utöver ovanstående noterades ett behov av att i lektion 2 tydligare förklara naturlig växthuseffekt och den av människan förstärkta växthuseffekten. En extra bild ritades med tillhörande förklaringstext (figur 9).



Figur 9. Av lärargruppen producerad bild för att visa på skillnaden mellan en naturlig och en antropogen växthuseffekt.

Artikeln om växthusgaser bedömdes däremot inte bidra till ökad förståelse för växthuseffekten enligt eftertesten och därför fokuserade lektion 2 mer på att förklara själva effekten än vilka gaser som bidrar starkast till växthuseffekt. Hela momentet där eleven skulle läsa artikeln och svara på frågor till texten för att ta ut växthusgaserna togs bort till forskningslektion 2.

Forskningslektion 3

I eftertesterna efter lektion 2 uttryckte 62 % av eleverna en uppfattning om växthuseffekten som kunde kategoriseras som att eleverna hade en god förståelse, dvs. eleverna skiljer på ozonlagret och växthuseffekten, att växthusgaser såsom koldioxid bidrar till ökad partikelkoncentration, att det sker en energiomvandling mellan inkommande solenergi och värmestrålning samt att växthuseffekten är väsentlig för jordens normaltemperatur. Testerna visade också att färre elever beskrev värmestrålningens spridning med begreppet studsar men många kunde fortfarande inte se skillnaden mellan en naturlig och antropogen växthuseffekt. Ett ytterligare förtydligande gällande detta krävdes, så i lektion 3 belystes hur atmosfärens sammansättning med gaser såg ut innan industrialismen och hur det ser ut idag med högre andel växthusgaser i atmosfären. Som avslutande aktivitet i lektion 3 fick eleverna ge förslag på egna namn till denna effekt som påverkar himlakroppar. Eleverna skulle använda sina kunskaper från föreläsningen för att resonera kring fenomenet.

Forskningslektionens betydelse för förståelsen

I eftertesterna efter lektion 3 visade 86 % av eleverna en god förståelse för växthuseffekten. Resultatet visar också att ingen elev uttrycker att koldioxid förtunnar atmosfären eller att ozonlagret består av koldioxid och endast en elev beskrev atmosfären som ett tak. Analysen av eftertestet visade också att eleverna nu kunde diskutera skillnaderna mellan en naturlig och antropogen växthuseffekt. I förtestet uttrycktes en entydig bild av växthuseffekten som något negativt men i eftertesten hade denna bild förändrats. Till exempel uttryckte en elev att:

> Egentligen är växthuseffekten bra, på så sätt att partiklarna i jordens atmosfär kan plocka upp värmen som rör sig bort från jorden, då behåller vi värmen. Det är dock inte så bra nu när våra utsläpp bara blir fler och fler. Det påverkar jorden på så sätt att det blir för varmt.
>
> (elevsvar från eftertest 3).

En annan elev menade att:

> Växthuseffekten är att solen värmer jorden genom att den värmer jordytan som ger ifrån sig värme till alla partiklarna i vår atmosfär som i sin tur värmer andra partiklar. Tack vare atmosfären stannar mycket värme kvar på jorden
>
> (elevsvar från eftertest 3).

Elevsvaren från eftertestet visade att eleven nu kunde resonera mer nyanserat kring växthuseffekten, vilket även återspeglas i deras bilder vilket exempelvis nedanstående exempel visar.



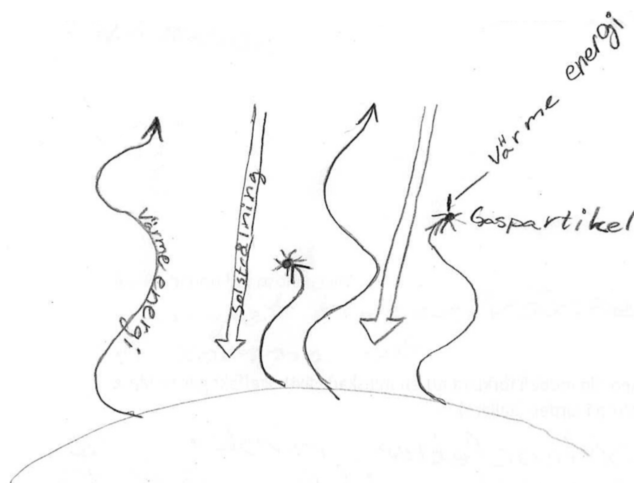
Figur 10. *Elevbild från eftertest som visar att partiklar tar upp värmeenergi och sänder ut åt alla håll.*

Eleven har som förklaringstext till bilden skrivit:

> Solens strålar kommer med värme till jorden. Värmen strålar sedan bort från jorden igen. Men strålarna träffar partiklar och sedan utstrålar dom också värme. Då stannar värmen kvar på jorden.
>
> (elevsvar från eftertest 3).

Eleven visar förståelse för att solstrålar ger uppvärmning av jordytan och att jorden sedan strålar tillbaka värme ut mot rymden igen men att dessa strålar stöter på molekyler som värms och utstrålar värme åt alla håll. Eleven uttrycker att det är därför värmen stannar kvar längre på jorden. I bildtexten till figur 11 skriver eleven:

> Atmosfären är ett lager med gaser som blir tätare och tätare desto närmare man kommer jorden. Den gör så att en del av värmen stannar kvar på jorden.
>
> (elevsvar från eftertest 3)



Figur 11. Elevsvar som visar att det sker en energiomvandling mellan inkommande solenergi och värmestrålning.

Bilderna ovan visar att eleverna i eftertestet i högre grad visar att atmosfären är uppbyggd av partiklar och att värmestrålningen tas upp av partiklar på olika höjd istället för bara på en höjd. De visar också att värme sedan strålar ut åt alla håll.

Sammanfattning av resultat

Studiens resultat sammanfattas här i relation till forskningsfrågorna. Vi vill uppmärksamma läsaren på att studien inte levererar några slutgiltiga svar på fråga nummer två. Det som följer är istället en sammanfattning av de justeringar som gjordes mellan lektionerna samt de skillnader i elevsvar som noterades.

Vilka aspekter kan anses vara kritiska för elevers förståelse för växthuseffekten?

Utifrån den inledande kartläggningen genom elevdiskussioner och förtest samt utifrån det som framkom under lektionerna och vid analyserna av eftertesterna, kan följande aspekter beskrivas som kritiska för de undersökta elevgruppernas förståelse av växthuseffekten.

1. Att kunna beskriva växthuseffekten som en modell.
2. Att kunna beskriva atmosfärens uppbyggnad.
3. Att kunna beskriva ozonlagret och växthuseffekten som olika fenomen.
4. Att kunna beskriva växthuseffektens betydelse för jordens normaltemperatur.
5. Att kunna beskriva växthuseffekten som en energiomvandlingsprocess.

Hur kan en undervisning organiseras för att utveckla elevers lärande med avseende på lärandeobjektets kritiska aspekter?

Att kunna beskriva växthuseffekten som en modell. Studien visade att elevers begrän-

sade förståelse för modeller kan vara betydelsefullt för hur de uppfattar växthuseffekten och att läraren därför behöver organisera situationer där eleverna får möjlighet att bedöma modellers funktion, användningsområden och begränsningar. I studien användes inledningsvis modeller som eleverna känner till från sin vardag. De mer vardagliga modellerna kontrasterades sedan mot vanligt förekommande modeller av växthuseffekten från läromedel och media.

Att kunna beskriva atmosfärens uppbyggnad. De elever som deltog i studien uppvisade inledningsvis begränsad kunskap om atmosfärens uppbyggnad och innehåll. Studien visade att aktiviteter där elever producerar och kommentera egna bilder av atmosfären kan vara ett medel för att stötta elevers lärande kring detta. Resultatet visade att illustrationer med molekyler vars koncentration avtar med höjden mot jordytan dominerande i slutet av interventionen. Efter forskningslektion 3 uttryckte eleverna inte längre beskrivningar och bilder där atmosfären har en skarp kant mot rymden.

Att kunna beskriva ozonlagret och växthuseffekten som olika fenomen. Studien visade att elever ofta sammanblandar växthuseffekten med ozonlagret. Vidare beskrivs ofta ozonlagret som en tunn hinna utgörande atmosfärens tak. Olika varianter av hur växthuseffekten fungerar och vilka konsekvenser olika typer av utsläpp får på ekosystemet kunde relateras till modeller där ozon hade en framträdande roll. Resultatet antyder att arbetet med modeller, där elever får stöd i att resonera kring sina och andras illustrationer, kan vara betydelsefullt för att urskilja skillnaderna mellan dessa två fenomen. Förståelse för atmosfärens uppbyggnad tycks vara centralt för elevers möjlighet att beskriva ozonlagret och växthuseffekten som skilda fenomen.

Att kunna beskriva växthuseffektens betydelse för jordens normaltemperatur. För att klargöra för eleverna att växthuseffekten är nödvändig för liv på jorden och inte enbart ett miljöproblem, användes Merkurius och Venus genomsnittliga temperatur som exempel därtill producerades bilder som illustrerade energiomvandlingsprocesser på jorden (figur 9). I likhet med de modeller som använts tidigare i interventionen var dessa bilder tydliga med att beskriva partiklarnas distribution i atmosfären. Resultatet antyder att det kan vara bra att uppmärksamma elever på vad som är relevanta skillnader i bilder som visar naturlig respektive antropogen växthuseffekt, nämligen mängden partiklar som kan absorbera värmestrålning.

Att kunna beskriva växthuseffekten som en energiomvandlingsprocess. Studien visade att illustrationer kan vara betydelsefulla redskap för att stötta elevers förståelse för energiomvandlingsprocesser. I likhet med de illustrationer som konstruerades för att klargöra, och för eleverna att urskilja, relevanta skillnader mellan naturlig och antropogen växthuseffekt, användes bilderna (figur 8 och 9) för att urskilja vilka processer som är relevanta i sammanhanget. I detta fall innebar det att visualisera fenomenet på makronivå (marken absorberar solenergi och värms upp, värmeenergi avgår sedan ut i atmosfären) och mikronivå (molekyler i atmosfären värms av den utåtgående värmestrålningen och att de uppvärmda molekylerna i sin tur strålar ut värmeenergi åt alla håll).

Sammanfattningsvis, en undervisning som stöttar elevers förståelse för växthusef-

fekten bör, enligt studiens resultat, organisera aktiviteter där eleverna får möjlighet att 1) diskutera vad en naturvetenskaplig modell är, 2) utgå från ett modelltänkande för att problematisera växthuseffekten och, slutligen, 3) i arbetet med växthuseffekten som modell, få stöd i att urskilja vad i atmosfärens uppbyggnad som är relevant: tak – inte tak, distinkt – uniform partikelplacering, få partiklar – många partiklar, reflektion – energiomvandling.

Diskussion

Kunskap om växthuseffekten och hur elever kan använda denna kunskap för att förstå global uppvärmning är ett viktigt område som betonas i olika policydokument, både i Sverige och internationellt (Glenn m.fl. 2014). Tidigare forskning har dock visat att elever ofta har svårt att beskriva växthuseffekten på ett tillfredsställande sätt (Andersson & Wallin, 2000; Gautier, Deutsch & Rebich, 2006). Då majoriteten av dessa studier framförallt har fokuserat på elevers förståelse av växthuseffekten som begrepp och fenomen (Jakobsson, Mäkitalo & Säljö, 2009) och inte så mycket på undervisningens betydelse för denna förståelse, är kunskapen om hur lärare kan stötta elevers lärande begränsad.

Ett intressant resultat av studien är den betydelse elevers förståelse för modeller tycks ha för deras förmåga att beskriva hur växthuseffekten fungerar. I relation till detta är det också intressant att se vilken betydelse undervisningen kan ha på denna förståelse. I likhet med tidigare undersökningar (Koulaidis & Christidou, 1999) visade studien att eleverna ofta sammanblandar olika aspekter av ozonlagret och växthuseffekten. Föreställningen om att ozonlagret utgör ett skyddande tak som kvarhåller värmen är till exempel vanligt förekommande i tidigare studier (Boyes & Stanisstreet, 1993; Jeffries m.fl. 2001) och även i denna. En möjlig uppkomst av sammanblandningen av ozonlagret och växthuseffekten kan givetvis vara bristande undervisning i ämnet men det är också rimligt att anta att de modeller som vanligtvis används för att åskådliggöra växthuseffekten kan ha stor betydelse för detta. Studien visade att när elever tillåts att resonera kring egenkonstruerade bilder som bättre representerade atmosfären, skedde också en successiv förändring i hur de beskrev ozonlagret och växthuseffekten. Det kan alltså vara fruktbart att lägga tid på att låta eleverna diskutera för- och nackdelar med olika modeller. I denna studie skedde detta genom att utgå från för eleverna kända vardagliga modeller till mer naturvetenskapliga.

Som Robert Williams Wood påpekade redan 1909 är metaforen växthus problematisk (Easterbrook, 2015). Växthus konnoterar att det ska finnas någon form av motsvarighet till växthusets glasväggar och tak i atmosfären som precis som dessa hindrar den varma luften att slippa ut. Vi kan bara spekulera kring vilken betydelse detta kan ha men studien visar att växthusmetaforen återkommer även i visuell form i de illustrationer eleverna möter i läroböcker och på Internet, vanligtvis i form av bilder som visar atmosfären som ett hölje med en tydlig avgränsad kant. Stor vikt lades därför på att diskutera och visa på atmosfärens uppbyggnad utifrån luftmolekylernas avtagande spridning i höjdled. Elevernas förståelse ökade och elevernas sätt att resonera förändrades också. Detta var kanske mest tydligt i hur de efter sista lektionen

beskrev naturlig och antropogen växthuseffekt. Initialt dominerande, i likhet med vad tidigare forskning visat (Andersson & Wallin, 2000), negativa beskrivningar av växthuseffekten men i slutet av interventionen kunde eleverna urskilja varför och hur en naturlig växthuseffekt är nödvändig för liv på jorden. De kunde även utifrån den modell de resonerade kring beskriva effekterna av en antropgent orsakad växthuseffekt.

Slutord

Tidigare forskning har visat att elever har svårt att se skillnad mellan inkommande solenergi och utgående värmestrålning (Gautier, Deutsch & Rebich, 2005; Koulaidis & Christidou, 1999). Att utgå från den preciserade växthuseffektmodellen, det vill säga en modell där växthusgaserna är uniformt spridda och där de succesivt avtar med höjden, visade sig även vara ett betydelsefullt redskap för att stötta eleverna förståelse för energiomvandlingar. Snarare än att strålar studsar på insidan av atmosfärens tak kunde eleverna i slutet av interventionen beskriva processen som att den av solenergin uppvärmda jorden avger värmestrålning som i sin tur absorberas och avges av växthusgaser på olika höjd i atmosfären.

Slutligen, i denna studie framkom ett antal kritiska aspekter som kan vara viktiga för elevernas förståelse för växthuseffekten. Det bör poängteras att denna studie är en fallstudie och att resultatet därför ska betraktas utifrån de undervisningsgrupper som är med i studien. Det är dock rimligt att anta att de kritiska aspekter som identifierats i denna studie, även finns i andra klassrum. Runesson & Gustafsson (2012) samt Kullberg (2012) menar att de kritiska aspekterna som identifieras i en learning study kan användas av andra lärare i deras undervisning. Vi menar också att kunskapen om vilka aspekter som kan vara kritiska för att förstå ett visst lärandeobjekt, kan vara användbar för andra lärare. Denna kunskap kan leda till att man som lärare ser på lärandeobjektet med nya ögon och uppmärksammar aspekter som man tidigare tagit för givet. En learning study väcker nya frågeställningar och mycket lämnas obesvarat, exempelvis hur de allmänna föreställningarna om atmosfären och växthuseffekten hade sett ut om dagens bilder i läromedel, på Internet och i media hade skiftats. Det hade även varit intressant att göra studier om fotosyntesen och ozonlagret på liknande sätt som här om växthuseffekten för att ta fram förslag på kritiska aspekten även där. Slutligen, utifrån vad som framkommit i denna studie kan vi konstatera att forskning kan utgöra ett stöd i att utveckla undervisningen i naturvetenskap.

Tack

Vi vill tacka Sara Fransson för hennes arbete i studiens inledningsfas.

Referenser

Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students’ understanding of the greenhouse effect, the societal consequences of reducing CO2 emissions and the problem of ozone layer depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 37, nr. 10, ss. 1096-1111.

Baigrie, B., S. (1996). *Picturing knowledge: historical and philosophical problems concerning the use of art in science* (B. Baigre, S Ed.). Toronto: University of Toronto press.

Easterbrook, S. (2015). *Who first coined the term "Greenhouse Effect"?* Tillgänglig online: http://www.easterbrook.ca/steve [Hämtad den 15 jan. 2016 från http://www.easterbrook.ca/steve/2015/08/who-first-coined-the-term-greenhouse-effect/]

Bengtsson, D., Weiland, M., & Anderhag, P. (2017): Innehåller silver kol? En studie om elevers begreppsanvändning när de arbetar med kolets kretslopp. *Forskning om undervisning och lärande*, vol. 5, nr. 1, ss. 6-25.

Björkholm, E. (2014). Exploring the capability of evaluating technical solutions: a collaborative study into the primary technology classroom. *International Journal of Technology and Design Education*, vol. 24, nr. 1, ss. 1-18.

Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1993). The 'Greenhouse Effect': children's perceptions of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education*, vol. 15, nr. 5, ss. 531-552.

Dove, J. (1996). Student Teacher Understanding of the Greenhouse Effect, Ozone Layer Depletion and Acid Rain. *Environmental Education Research*, vol. 2, nr. 1, ss. 89-100.

Gautier, C., Deutsch, K., & Rebich, S. (2006). Misconceptions about the greenhouse effect. *Journal of Geoscience Education*, vol. 54, nr. 3, ss. 386-395.

Glenn, J., Clayton, Gordon, T., J, & Florescu, E. (2014). *2013-14 State of the future*. Washington, D.C: Millennium Project, World Federation of United Nations Associations.

Holmqvist, M. (2006). *Lärande i skolan*. Lund: Studentlitteratur

Jakobsson, A., Mäkitalo, Å., & Säljö, R. (2009). Conceptions of knowledge in research on students' understanding of the greenhouse effect: Methodological positions and their consequences for representations of knowing. *Science Education*, vol. 93, nr. 6, ss. 978-995.

Jeffries, H., Stanisstreet, M., & Boyes, E. (2001). Knowledge about the 'Greenhouse Effect': Have college students improved? *Research in Science & Technological Education*, vol. 19, nr. 2, ss. 205-221.

Jägerskog, A.-S. (2015). *Pictures and a Thousand Words*. (lic.-avh.) Stockholm: Stockholms Universitet.

Koulaidis, V. & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, vol. 83, nr. 5, ss. 559-576.

Kullberg, A. (2012). Can findings from learning studies be shared by others? *International Journal for Learning and Lesson Studies*, vol. 1, nr. 3, ss. 232-244.

Marton, F. & Booth, S. (1997). *Learning and Awareness*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Marton, F. (2005). Om praxisnära grundforskning. *Forskning av denna värld II – om teorins roll i praxisnära forskning, Vetenskapsrådets rapportserie,* rapport 4. ss. 105-122.

Marton, F. & Ling, L. M. (2007). Learning from ”The learning study”. *Tidskrift för lärarutbildning och forskning*, vol. 14, nr. 1, ss. 31-44.

Mason, L., & Santi, M. (1998). Discussing the Greenhouse Effect: children's collaborative discourse reasoning and conceptual change. *Environmental Education Research*, vol. 4, nr. 1, ss. 67-85.

Ojala, M. (2007). *Hope and worry: exploring young people's values, emotions and behavior regarding global environmental problems.* (Diss.) Örebro: Örebro universitet.

Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual Coding Approach*. New York: Oxford University Press.

Poynting, J. H. (1907). On Prof. Lowell's Method for Evaluating the Surface-temperatures of the Planets; with an Attempt to Represent the Effect of Day and Night on the Temperature of the Earth. *Philosophical Magazine*, vol. 14, nr. 84, ss. 749-760.

Runesson, U. & Gustafsson, G. (2012). Sharing and developing knowledge products from Learning Study. *International Journal for Learning and Lesson Studies*, vol. 1, nr. 3, ss. 245-260.

Rye, J. A., & Rubba, P. A. (1998). An Exploration of the Concept Map as an Interview Tool to Facilitate the Externalization of Students' Understandings about Global Atmospheric Change. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 35, nr. 5, ss. 521-546.

Tsaparlis, G. & Sevian, H. (2013). Introduction: Concepts of Matter – Complex to Teach and Difficult to Learn, *Innovations in Science Education and Technology*, vol. 19, ss. 1-8.

Ulfves, A., Fahrman, B., & Andrée, M. (2017). Om utveckling av elevers förmåga att resonera om friktion i de tidiga skolåren. *Forskning om undervisning och lärande*, vol. 5, nr. 1, 47-63.

Vikström, A. (2015). Vad är det som gör skillnad? - vad undervisningen måste göra synligt och vad eleverna måste lära sig för att förstå begreppet materia. *Forskning om undervisning och lärande*, vol. 3, nr. 15, ss. 22-37.

Wood, R. W. (1909). Note on the Theory of the Greenhouse. Philosophical Magazine, vol. 17, nr. 98, ss. 319-320.